

RÉINTERPRÉTATION DE L'HISTOIRE STRATIGRAPHIQUE ET TECTONIQUE DE LA STRUCTURE DE SERRA DE EL-REI (PORTUGAL)+

par

José Carlos KULLBERG*, René MOUTERDE et Rogério
ROCHA***

* Centro de Estratigrafia e Paleobiologia, Universidade Nova de Lisboa

** Centre international d'Etudes du Lias, Université catholique Lyon, 25 rue du Plat, 69288 Lyon Cedex 02

RÉSUMÉ

Les travaux faits sur le terrain et les interprétations cartographiques de ces dernières années, montrant la pertinence des observations de Paul Choffat au siècle dernier, permettent de préciser l'échelle stratigraphique et de mieux distinguer les phases de l'histoire tectonique de la structure de Serra de El-Rei.

En attendant la publication d'une cartographie très détaillée mettant en évidence le détail des déformations tectoniques, il faut souligner la dissymétrie des deux flancs de cette structure ainsi que le rôle de certaines failles transverses.

Sur son flanc nord, la série liasique, allant des dolomies du Lias inférieur au Toarcien inférieur ou moyen, est recouverte stratigraphiquement et en légère discordance par le "Lusitanien" qui remanie à sa base des éléments du Toarcien inférieur ou moyen.

Sur son flanc sud, dans la partie centrale, la série stratigraphique liasique est comparable à celle de l'autre flanc, mais les dépôts du Toarcien, plus complets, sont affectés au cours de la zone à Meneghinii par des perturbations synsédimentaires avec fossiles brisés et/ou remaniés et des réductions d'épaisseur. Plus à l'Est, le Toarcien est très réduit et (tectoniquement ?) en contact avec le Dogger.

Au Sud-Ouest en revanche, près de Bolhos, la série toarcienne est plus complète et couronnée par l'Aalénien inférieur, mais tronquée par un contact oblique N-S, repris par la tectonique récente.

Sur ce flanc, le Bajocien inférieur est représenté mais peu épais; il est suivi par le Bajocien supérieur, le Bathonien et le Callovien très développés qui sont recouverts par un "Lusitanien" épais, très différent de celui du flanc nord. Cette série du Jurassique moyen et supérieur a été décrite dans la thèse de Christiane Ruget (1963).

La structure de Serra de El-Rei constitue une sorte de raccord E-W entre les importantes structures (diapiriques ?) méridiennes de Caldas da Rainha au NE et de Bolhos au SW. Il s'agit d'une structure de tectonique distensive, en demi-graben, d'âge jurassique, qui est responsable de la dissymétrie des séries lithostratigraphiques sur ses deux flancs; au Miocène, pendant la compression bétique, cette structure a subi une inversion en constriction.

Un modèle de l'évolution sédimentaire du secteur est présenté.

1. HISTORIQUE

Choffat au siècle dernier avait déjà une remarquable connaissance de la structure de Serra de El-Rei. Dans la limite des méthodes dont on disposait alors il en a donné une excellente description et interprétation dans plusieurs travaux.

Dès 1880 il décrit (pp. 6, 64-65) plusieurs coupes détaillées des environs de Bolhos et du flanc sud pour lequel il donne, entre Cova da Moura et le chemin de Cezareda, une série d'observations dont on peut vérifier encore aujourd'hui la qualité. Les listes de fossiles données montrent que les conditions d'affleurement étaient meilleures qu'aujourd'hui. Vient ensuite une description assez détaillée du "Dogger et Callovien du plateau de Cezareda" (pp. 70-71).

En 1882, il figure (p. 275) six coupes transverses relatives aux deux vallées de Serra de El-Rei et de Bolhos et précise dans le texte les successions observées. Pour celle de Serra de El-Rei, il insiste sur deux faits importants : le contact "en concordance" du Lias et du Malm sur le flanc nord et l'intercalation au centre de la vallée d'un lambeau de Malm au milieu des Marnes de Dagorda. Ce lambeau s'élargit et prend une grande importance vers l'Est.

Oertel (1952), de la Companhia dos Petróleos de Portugal a effectué le levé détaillé des deux structures qui sont décrites dans des rapports internes. Une cartographie à l'échelle du 25000ème est réalisée mettant en évidence un système complexe de failles et de nombreuses données structurales.

Les coupes de Choffat sont refigurées par Zbyszewski (1959) qui, utilisant pour une bonne part les notes inédites de Choffat, conservées à l'Instituto Geológico e Mineiro, apporte des informations précises sur les successions des terrains du "Lusitanien" au Lias sur les flancs nord et sud de la structure de Serra de El-Rei (pp. 46-52). D'importantes listes de fossiles sont données pour le "Lusitanien".

Ruget-Perrot dans sa thèse (soutenue en 1959 et publiée en 1961) décrit en détail le Jurassique moyen et supérieur ("Lusitanien") du flanc sud de la structure de Serra de El-Rei - plateau de Cezareda.

La notice de la carte géologique au 1/50 000, feuille de Peniche (França *et al.*, 1960) reprend les données de Oertel, ainsi que le résultat des observations et coupes inédites de Choffat et des travaux de Ruget-Perrot.

En 1961, Ruget-Perrot et Almeida donnent des précisions sur le Callovien du flanc sud à l'occasion de la description par Tintant de la nouvelle espèce *Rugeticeras cesaredense* (Choffat *in litt.*).

Guéry (1984) a donné une description incomplète de la série stratigraphique reposant sur des observations trop rapides. Il a sous estimé ainsi largement (malgré ses réserves) les épaisseurs. En revanche, essayant d'apprécier les profondeurs et les conditions de dépôt, il souligne avec raison l'importance de deux modifications importantes de la sédimentation aux passages Sinémurien-Carixien et Toarcien-Aalénien (ou Bajocien); nous y reviendrons. L'interprétation tectonique et le dessin des accidents sont loin d'avoir la pertinence des levés de Oertel.

2. SÉRIE STRATIGRAPHIQUE (fig. 1-2)

Les épaisseurs indiquées sont les épaisseurs mesurées sur le terrain et elles correspondent à des valeurs minimales par rapport aux épaisseurs originelles des différentes unités. Ce fait s'explique par la réduction tectonique de l'épaisseur par cisaillement pur, en particulier dans les sédiments tendres.

Marnes de Dagorda

Ce sont en réalité des pélites souvent silteuses mais peu carbonatées (moins de 15% selon Palain) malgré leur aspect compact. Leur couleur est rouge-violet, "lie de vin", ou parfois vert clair. En général dans le pays, elles contiennent du gypse ou du sel, ce qui n'apparaît guère dans la structure de Serra de El-Rei en raison des altérations ultérieures.

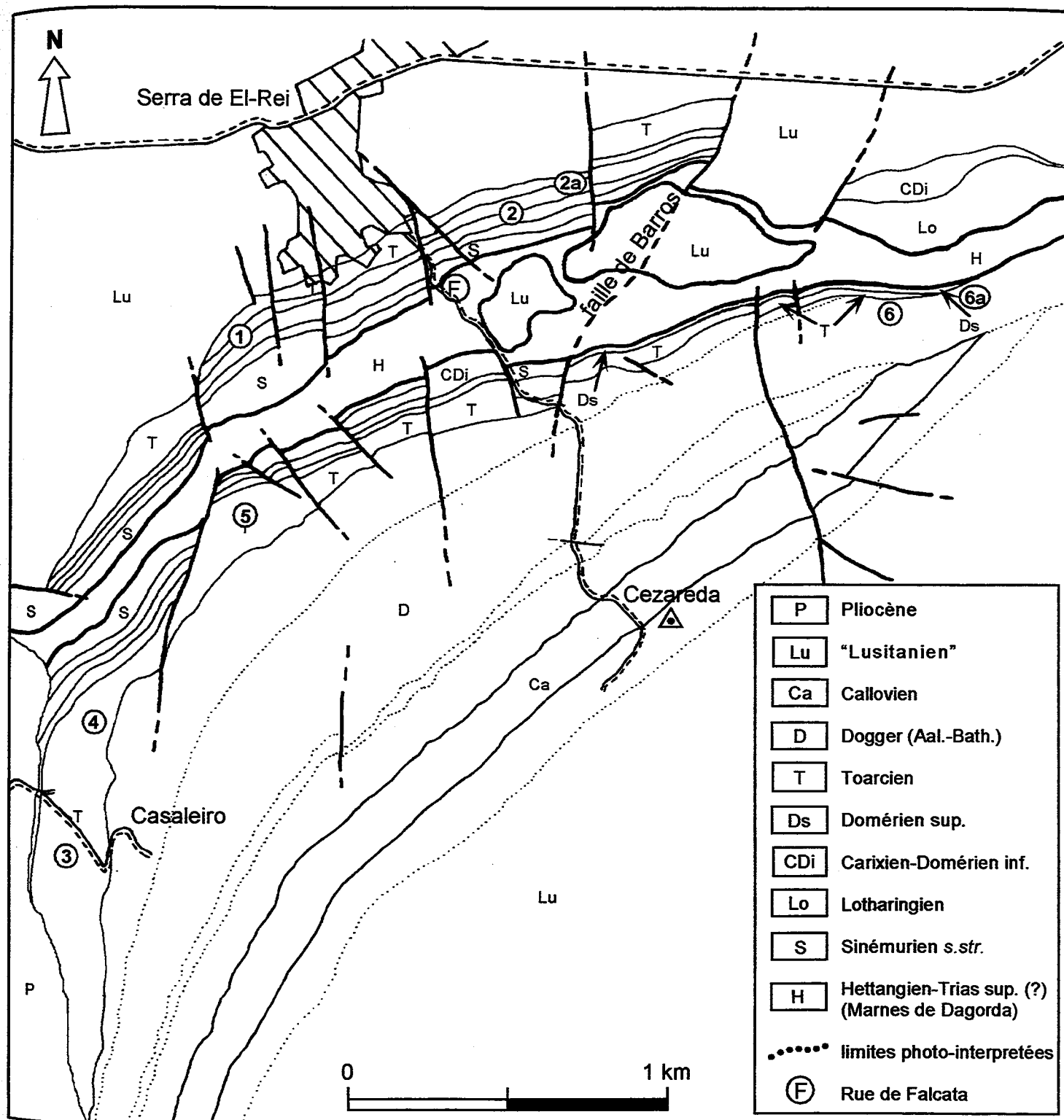


Fig. 1 - Carte géologique de la structure de Serra de El-Rei; 1-6 - coupes stratigraphiques.

Elles forment la dépression qui est au centre des vallées de Bolhos et de Serra de El-Rei, où elles sont recouvertes par des dépôts récents. La disposition est simple dans la partie de la structure au SW et au Sud de ce village; mais au SE elle est réduite à deux bandes plus ou moins étroites de chaque côté d'une vaste zone de "Lusitanien", dont on expliquera plus loin l'origine. Les Marnes de Dagorda forment alors une bande plus ou moins étroite au bord sud de la vallée, entre le "Lusitanien" et un Toarcien très redressé.

Dolomies, calcaires dolomitiques et cargneules

Ces dépôts classiques du Lias inférieur (Hettangien?, Sinémurien et Lotharingien *pro parte*) se présentent tantôt en bancs massifs, mais plus souvent en masses irrégulières disloquées par la tectonique.

Ce sont des calcaires dolomitiques et des dolomies souvent cargneulisées par dissolution. La partie inférieure est formée de bancs plus massifs, mais à disposition souvent irrégulière. La partie supérieure montre bien, dans la partie occidentale [carrière profonde au NE de Bolhos (M=476,4 ; P=4352,2); carrière récente au SW de Serra de El-Rei (M=476,7; 2,9) et au SE du village (Sud de Barros: M=477,7; P=4353,5)], des niveaux à sédimentation rythmée, un peu comme des laminites avec des lits très riches en petits lamellibranches et parfois des passées oolithiques. Ces niveaux doivent correspondre au Lotharingien moyen ou à la partie inférieure du Lotharingien supérieur. L'épaisseur totale est au moins de l'ordre de 50m.

Lotharingien supérieur (= Sinémurien terminal)

Il est formé de calcaires gris-noir ou bleu foncé, parfois très compact, en bancs assez épais (20/30 à 70 cm) à surface irrégulière, avec des couches localement très foncées et fétides sous le choc. Ils peuvent être dolomitisés partiellement. Vers sa base se situe le niveau à laminites, lamellibranches et parfois oolithes mentionné ci-dessus. Son sommet présente généralement un "hard-ground". L'épaisseur est assez difficile à apprécier en raison de déformations tectoniques et de la qualité des affleurements; elle est d'environ 20 à 30m.

A l'ouest de la faille de Barros (de direction N30E) il forme, sur la bordure nord de la vallée, une bande continue d'une épaisseur d'environ 10 à 35m (8 à 10 m sont visibles sous la Rua dos Regueiros, au centre du village; 10 à 15m seulement sont visibles sur chemin descendant sous la Rua da Falcata, mais dans le voisinage l'épaisseur peut être estimée à 30 ou 35 m).

Sur le flanc sud de la vallée, on peut l'observer dans la carrière profonde (M=476,4; P=4352,2) et on le suit à flanc de coteau jusqu'en face de Serra de El-Rei où cette barre épaisse d'environ 20 à 30m est décalée par des failles et repose généralement sur la dolomie; cet affleurement est limité à l'Est par une faille qui met le Lotharingien en contact avec le Lias moyen (Carixien et Domérien inférieur à faune pyriteuse).

A l'Est du chemin de Cezareda (M=477,38; P=4352,95), on retrouve des calcaires un peu dolomitiques et très compacts, subverticaux, sur une épaisseur d'environ 30 m; les niveaux supérieurs contiennent de petites bélemnites et rhynchonelles et supportent, après une surface irrégulière ("hard-ground" ?) les couches du Carixien. A l'Est de la faille de Barros on ne retrouve généralement plus ces calcaires lotharingiens.

Cependant, ils forment plus à l'Est, en direction de Olho Marinho, sur le bord nord de la vallée, quelques reliefs avec les niveaux à laminites bien caractéristiques.

Dans la faune recoltée on peut citer *Homeorhynchia ranina*, *Pecten (Weyla) lacazei*, *Gryphaea geyeri*, petites huîtres, *Mactromya liasina*, *Astarte* sp.; un *Echioceras* sp. (exemplaire écrasé à fortes côtes et ombilic moyen) a été ramassé non en place sur le flanc sud de la vallée en face du village.

Carixien inférieur et moyen (10 à 15m)

Alternances de bancs de calcaires marneux plus ou moins compacts et de marnes avec des niveaux grumeleux

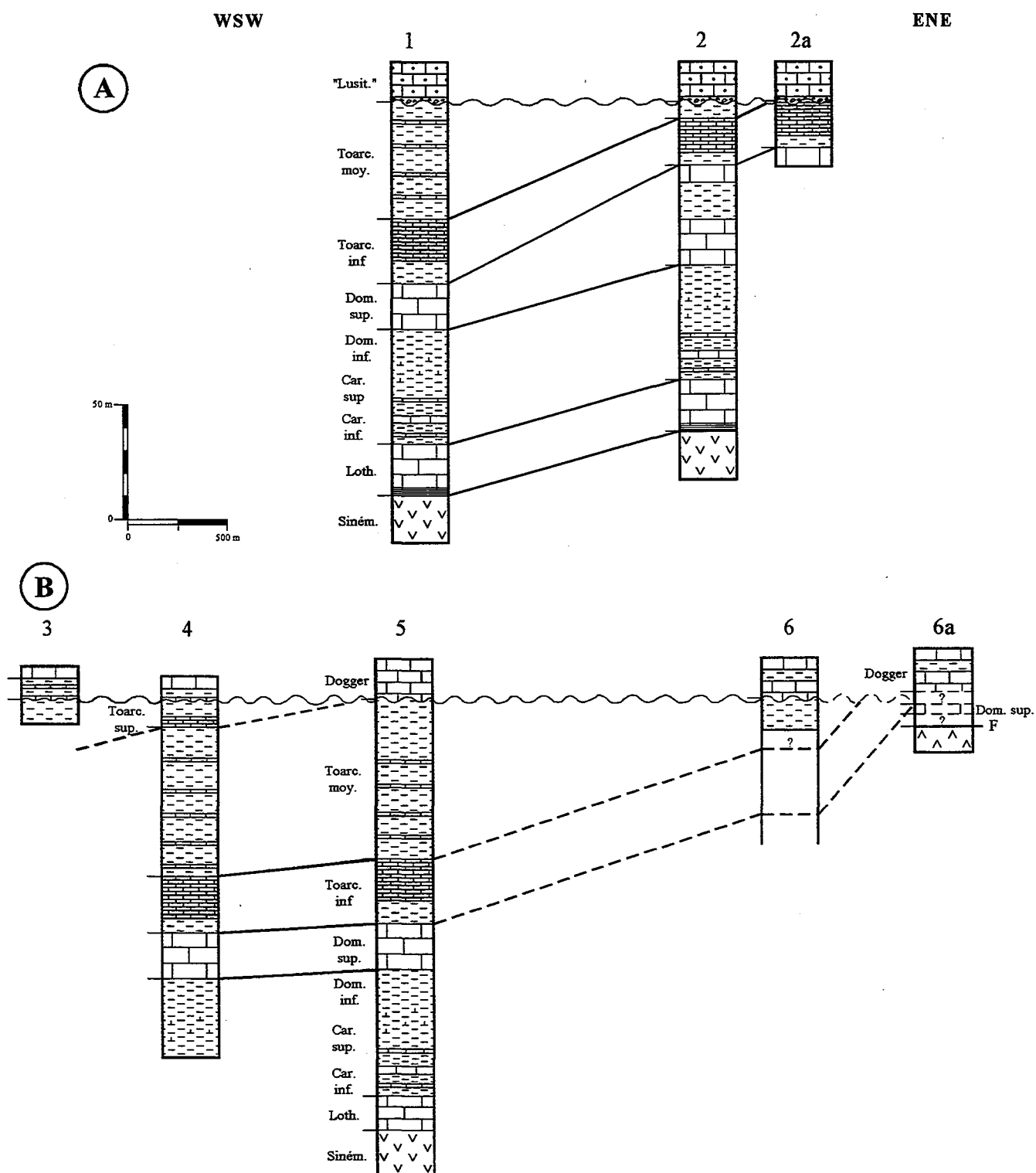


Fig. 2 - Corrélations entre les coupes stratigraphiques de la structure de Serra de El-Rei: A) flanc nord; B) flanc sud.

- près de la base : *Pseudophricodoceras* sp. aff *dayiforme* et niveaux à crinoïdes
- puis : *Platypleuroceras* sp.
- et au-dessus : *Uptonia* sp. et *Dayiceras* sp. (abondants)
(coupes sous rua Falcata et sur le chemin de Césareda)

Carixien supérieur + Domérien inférieur (35 à 40m probables)

Marnes et calcaires marneux tendres
Aegoceras sp., *Amaltheus* sp., *Protogrammoceras* sp., *Metaderoceras* sp.

Domérien supérieur

Il forme une barre de calcaire marneux compact en bancs décimétriques, bleu en profondeur, à patine blanchâtre, bien nette sur les flancs nord et sud de la structure, sur 15 à 20m d'épaisseur, avec *Amaltheus* sp., *Pleuroceras* sp. et grandes bélemnites. Dans la partie moyenne certains bancs sont très riches en *Pleuroceras solare*.

A l'Est de Serra de El-Rei, il semble plus épais (40m) et montre un niveau tendre à la partie moyenne. Le calcaire est noir foncé, schisteux, avec niveaux à laminites et parfois un aspect bréchique et nombreux *Pleuroceras* sp. et Bélemnites.

Ce Domérien supérieur (au moins sa partie terminale), daté par des *Pleuroceras* sp. et *Emaciatoceras* sp., est connu en plusieurs points du bord sud, à l'Est de la faille de Barros, en contact (?) avec les Marnes de Dagorda.

Toarcien

• A l'W de la faille de Barros (fig. 2a), le Toarcien inférieur et moyen se présente de façon à peu près identique dans les divers secteurs.

Il débute par des couches marneuses tendres (3 à 5m) avec *Dactylioceras* (*Orthodactylites*) gr. *semicelatum*; puis viennent les "calcaires en plaquettes", calcaire micritique gris clair à jaune clair (10 à 20 m) en bancs très minces

Dans des conditions favorables on peut distinguer, à la base, des "calcaires en plaquettes" minces sans interlits, surmontés par des plaquettes plus irrégulières, séparées par des passées marneuses. C'est la partie inférieure de la zone à Levisoni.

Au-dessus viennent des calcaires marneux et marnes du sommet du Toarcien inférieur et du Toarcien moyen (zones à Levisoni, Bifrons et Gradata) qui forment une bande relativement tendre ou un replat à pente faible. Leur puissance est très difficile à estimer. Mais si on considère que les couches sont probablement subverticales sur les flancs de la structure, il faut penser à une épaisseur de l'ordre de 70-80m environ.

Plus haut, aux environs de Bolhos, la série devient plus calcaire; ce sont des bancs calcaires bien marqués qui contiennent des *Hammatoceras bonarellii* de la zone à Bonarellii (épaisseur 5 à 8m environ). L'épaisseur de l'ensemble supérieur (au-dessus de la série tendre à *Hildoceras* sp.) serait d'environ 20 à 25m.

La zone à Aalensis (environ 10m) est connue seulement à l'affleurement sur le chemin de Bolhos à Cezareda, près de Casaleiro (colonne 3: M=476,33; P=4351,52).

• A l'Est de la faille de Barros (fig. 2b), le Toarcien, inconnu sur le flanc nord, est mal représenté sur le flanc sud. Le Toarcien inférieur n'est pas connu; seul le Torcien moyen à *Hildoceras* sp. est représenté par un à quelques mètres de marno-calcaires tendres plaqués, souvent par l'intermédiaire de niveaux bréchiques, contre les calcaires massifs de l'Aalénien ou du Dogger.

Plus à l'Est, en-dessous d'une lentille à fossiles noirs du Bajocien (colonne 6a: M=478,50; P=4353,26), au-dessus du Domérien supérieur à *Pleuroceras* sp. et *Emaciatoceras* sp., il existe quelques mètres de couches marno-calcaires (probablement toarciennes), affleurant mal, avant les calcaires compacts du Dogger contenant la lentille fossilifère.

De même il existe un petit affleurement de Toarcien avec *Dumortieria* (?) sp. ou *Catullocceras* (?) sp. (M=477,83; P=4353,06) au-dessus du Domérien supérieur.

Il faut insister sur le problème des conditions de dépôt du Toarcien supérieur (zone à Meneghinii probablement) dans le flanc sud de la structure, posé par l'existence de couches à fossiles brisés et par plusieurs gisements curieux.

D'une part, au SE de Serra de El-Rei, près de Cova da Moura, sur le bord sud de la vallée, le long d'un chemin menant à Cézareda, dans le talus rafraîchi, au dessus des calcaires marneux à *Hildoceras* gr. *sublevisoni-lusitanicum* du Toarcien moyen, s'observe une barre verticale de brèche synsédimentaire de calcaires contenant localement des bélemnites, rhynchonelles et radioles d'oursin sur laquelle vient un banc calcaire à fossiles phosphatés, ou en calcite, de petite taille et plus ou moins brisés, abondants mais difficiles à dégager ; on a pu récolter une association du Toarcien supérieur, zone à Aalensis: *Pleydellia* sp. (2 fragments), *Tmetoceras* sp., polypiers et lamellibranches. Dans les marnes sous-jacentes on observe *Soaresirhynchia cotteri* de la zone à Speciosum-Meneghinii. La barre verticale se poursuit vers l'Est au-delà et en dessous du chemin de Cova da Moura.

D'autre part, une carrière nouvelle observée en 1992 (M=476,48; P=4352,25) montre, sur 6m d'épaisseur, des alternances verticales de calcaire marneux et de marnes contenant *Hammatoceras* sp. (à 4m du contact) et *Polyplectus discoides* (à 1,60m du contact), terminées par une surface d'arrêt de sédimentation; au-dessus, on note la présence d'une masse de calcaire marneux compact à brachiopodes, dans lequel s'individualise un niveau de calcaire biodétritique riche localement en oolites blanchâtres, à oursins et brachiopodes.

A environ 500m à l'Est (M=476,84; P=4352,52), à la base des calcaires du Dogger ou plutôt de l'Aalénien, un niveau un peu bréchique au sommet des marno-calcaires tendres du Toarcien a livré une faune de la zone à Meneghinii: *Osperlioceras* gr. *subcostulatum* ou *reynesi* et *Hammatoceras* gr. *meneghinii* avec des pectinidés et des gastéropodes.

On a donc une série d'indications qui montrent que la sédimentation a été troublée et instable pendant le Toarcien supérieur, zone à Meneghinii (?). Les niveaux sus-jacents au Toarcien supérieur montrent des indices d'instabilité sédimentaire, avec des niveaux de reprise de la sédimentation, des petites brèches, des dykes neptuniens, (pl.1, fig.1), des surfaces de condensation de la faune et, épisodiquement, la présence de faunes phosphatées.

Sur le flanc nord, le Lusitanien repose en discordance légèrement oblique sur le Toarcien inférieur ou moyen; l'absence de dépôts de la zone à Meneghinii dans ce flanc ne permet pas une corrélation avec les observations faites sur le flanc sud.

Aalénien

Il n'a été observé à l'affleurement qu'au NE de Bolhos, sur le chemin de Cezareda (colonne 3: M=476,33; P=4351,55) où des bancs calcaires séparés par des passées tendres (4 à 5m) ont livré *Leioceras* sp. et *Malladaites* aff. *pertinax*, qui indiquent l'Aalénien inférieur; par contre, Choffat (1880, pp. 35, 45) cite, à Cezareda, *Ammonites murchisonae*, *A. fallax* et *A. scissum*, ce qui indiquerait la présence de l'Aalénien moyen.

Bajocien

Le Bajocien inférieur présenté par Choffat (1880, pp. 44-46) a été décrit par Ruget-Perrot (1961, pp. 99-100). Notamment la faune "alpine", riche en brachiopodes, associés à quelques ammonites de Cova da Moura, a été inventoriée; elle appartient à la zone à Humphriesianum. Elle constituait des accumulations locales dans des calcaires "gris beige, à patine blanchâtre, ...à pâte très fine...; localement les calcaires sont rubanés...". Il n'a pas été possible de retrouver, récemment, ces riches accumulations de fossiles.

Mais plus à l'Est (colonne 6a: M=478,50; P=4353,26), au milieu d'une barre de quelques mètres de calcaires compacts du Dogger, un petit niveau fossilifère a livré une faune d'ammonites généralement noirâtres (phosphatées ou minéralisées), au sein d'un calcaire beige compact. La faune, difficile à dégager, comprend: *Strigoceras* sp., *Oppelia* gr. *subradiata*, *Oppelia* sp., *Dorsetensia* [M] gr. *edouardiana*, de nombreuses bélemnites, quelques brachiopodes, formes de la zone à Humphriesianum. Cette association est "réélaborée" dans une matrice de calcaire compact beige contenant quelques mauvais

fragments d'ammonites de la zone à Humphriesianum ou de la base de la zone à Niortense.

Légèrement plus haut, des calcaires plus marneux, un peu schisteux, ont livré quelques ammonites de la zone à Niortense ou de la zone à Garantiana.

De même, quelques bancs fossilifères du Bajocien supérieur ont été observés dans la montée du chemin de Cezareda, sur le flanc sud de la structure (colonne 6: M=477,95; P=4353,10). Au milieu de bancs beaucoup plus compacts, sur 2 à 3m, des calcaires marneux en bancs de 20 à 30 cm ont fourni une petite faune de *Garantiana garantiana*, *Spiroceras* sp. et des Perisphinctidés. Ce sont les "calcaires marno-schisteux avec des nodules de calcaire grumeleux" de Ruget-Perrot (1961, p.100) de la zone à Garantiana.

Les indications données ci-dessus (avec la faible épaisseur des calcaires compacts du Bajocien inférieur) sont seulement relatives aux affleurements à l'Est de la faille de Barros. Pour la partie ouest, nous n'avons pas de données précises, pas de coupes et pas de récoltes de faunes caractéristiques.

Le Bathonien et le Callovien sont bien connus par les descriptions de Ruget-Perrot (1961).

"Lusitanien"

Les formations "lusitaniennes" reposent sur le Jurassique inférieur ou moyen, soit en discordance (cartographique) sur le flanc nord, soit sur le flanc sud après une lacune callovienne suivie d'un changement total de sédimentation.

Il faut signaler que le "Lusitanien" se présente sous des aspects très différents selon les secteurs:

a) A l'Ouest de Serra de El-Rei (fig. 2a, coupe 1), les couches du "Lusitanien" marin, avec des bancs à Nérinées et à algues, surmontent une brèche de galets calcaires anguleux noir ou gris-bleu foncé dans une matrice jaune qui repose (en discordance cartographique) sur les calcaires marneux et marnes du Toarcien moyen à *Hildoceras sublevisoni*.

b) Au SE du village, le "Lusitanien" est de type différent, avec des niveaux calcaréo-marneux tendres formant une petite dépression, des niveaux à algues et brèche interstratifiés; certains blocs sont riches en grains de quartz.

Non loin de là, on a pu observer des blocs de conglomérat de "Lusitanien" basal contenant des fragments remaniés de "calcaires en plaquettes" du Toarcien inférieur (fig. 2a, coupe 2a et pl.1, fig.2). Légèrement à l'Ouest (fig. 2a, coupe 2), on remarque un niveau marneux entre le "Lusitanien" et les "calcaires en plaquettes"; ici, le "Lusitanien" ne présente pas de conglomérat basal.

c) A l'Est de la faille de Barros, en direction de Olho Marinho, on observe un "Lusitanien" très épais (avec des dépressions qui doivent correspondre à des niveaux plus tendres); des niveaux à débris noirâtres, d'autres avec des Nérinées, des Chaetétidés ou des algues, ont été observés. Une étude serait à faire qui dépasse le cadre de notre présent travail.

d) Sur le flanc sud, au-dessus de la série marine du Bathonien-Callovien, après une lacune importante, vient un "Lusitanien" très épais (Ruget-Perrot 1961, pp. 102-105; Guéry 1984) débutant par des "couches à tendances lagunaires peu marquées" (65m) avec charophytes, ostracodes et *Pseudocyclamina* sp. Puis viennent des "couches marines littorales" (600m), à faune d'huîtres, mytilidés, gastéropodes, nérinées, polypiers, brachiopodes et aussi débris ligniteux, qui se terminent par des niveaux oolithiques à algues et oursins, avec, au sommet, citation de quelques ammonites (*Ataxioceras* sp. et *Orthosphinctes* sp.) de l'Oxfordien supérieur.

3. OBSERVATIONS CARTOGRAPHIQUES ET TECTONIQUES

La structure de Serra de El-Rei se situe dans l'intersection de deux failles de type et d'importance différents:

- l'une, la faille de Caldas da Rainha (Canérot *et al.* 1995) est une faille normale de direction NNE-SSW, qui affleure depuis Santa Cruz, au Sud, jusqu'au moins à la faille de Nazaré, au Nord, sur une longueur de plus de 70 km;

- l'autre, la faille de Atouguia da Baleia (França *et al.* 1960), sensiblement perpendiculaire à la première, est un décrochement droit (Montenat *et al.* 1988, fig. 4), visible sur 15 à 20 km.

Tout le long de la faille sub-méridienne se situent, depuis le Sud vers le Nord, les structures diapiriques de Santa Cruz, Vimeiro, Maceira, Bolhos et Caldas da Rainha; la structure de Serra de El-Rei fait la liaison entre les deux dernières.

De chaque côté des Marnes de Dagorda, qui présentent leur plus grande largeur dans le centre de la structure, s'observent deux flancs franchement dissymétriques tant pour la géométrie de la stratification que pour le développement des différentes unités stratigraphiques.

La cartographie met en évidence une géométrie générale en arc, qui lui est donnée par la variation de la direction des couches, qui est N-S dans l'extrémité SW pour devenir E-W dans l'extrémité NE. Les pendages moyens sont très réguliers et très élevés (entre 70 et 90°) dans le flanc NW, tandis que dans le flanc SE ils varient entre 40 et 80°; ceci est particulièrement visible dans la région centrale de la structure (au SE de Serra de El-Rei); ils augmentent vers les extrémités, jusqu'à atteindre des valeurs proches de la verticale. Cependant, dans le flanc NW, les pendages diminuent très rapidement au fur et à mesure qu'on s'éloigne du centre de la structure.

La distribution des unités stratigraphiques est, sans doute, ce qui donne la plus grande dyssymétrie à la structure. Notamment sur le flanc SE se développe une séquence carbonatée du Dogger, très épaisse (>600m selon Ruget-Perrot, 1961), absente sur le flanc NW.

Cependant, dans le détail, d'autres paramètres descriptifs sont semblables. Un premier exemple est la distribution régulière des failles qui affectent particulièrement les unités liasiques; en effet, on voit bien dans la cartographie l'existence, dans les deux flancs, d'un ensemble de failles normales subméridiennes, qui définissent des blocs de largeur hectométrique (300 à 500 m en moyenne) et dont la plupart est scellée par les unités lithostratigraphiques postérieures (dans certains cas on a des réactivations tardives, avec des petits rejets). Cette géométrie représente une séquence de failles normales symétriques, qui donne à l'ensemble une géométrie en "horsts" et "grabens". Le cas le plus remarquable est celui d'un bloc situé dans la montée de rue da Falcata (fig.1) vers le flanc sud de la structure. Ces failles se seraient développées pendant le Toarcien supérieur (zone à Meneghinii ou peu après) car on n'observe pas de modifications dans la sédimentation (variations d'épaisseur et autres) qui nous permettent de les dater comme plus anciennes.

Un deuxième exemple est celui de la lacune sus-jacente au Toarcien (fig.3). La biostratigraphie détaillée nous permet de montrer, dans les deux flancs, une tendance générale à l'ancienneté progressive de la base de la lacune du SW vers le NE. La limite supérieure de la lacune, par contre, ne montre pas une disposition comparable des deux côtés de la structure.

La biostratigraphie détaillée montre aussi que, dans le flanc SE, les couches de la base du Dogger ont un âge plus tardif du SW vers le NE; cette disposition est confirmée par l'observation des photos aériennes.

Il ne s'agit pas d'une troncature tectonique, car les niveaux de base tout du long de cette discontinuité présentent des indices d'instabilité sédimentaire. La troncature tectonique, d'âge tertiaire, se situe entre le Lias et les Marnes de Dagorda, où le contraste rhéologique est très élevé.

Ainsi, apparemment, à partir de la fin du Lias, l'histoire géologique des deux flancs de la structure est différente. Dans le flanc nord, le "Lusitanien" repose en transgression sur le Lias, avec l'existence d'un conglomérat qui n'est pas toujours présent (França *et al.* 1960) (pl. 1, fig. 2); il correspondrait aux Calcaires de Montejunto.

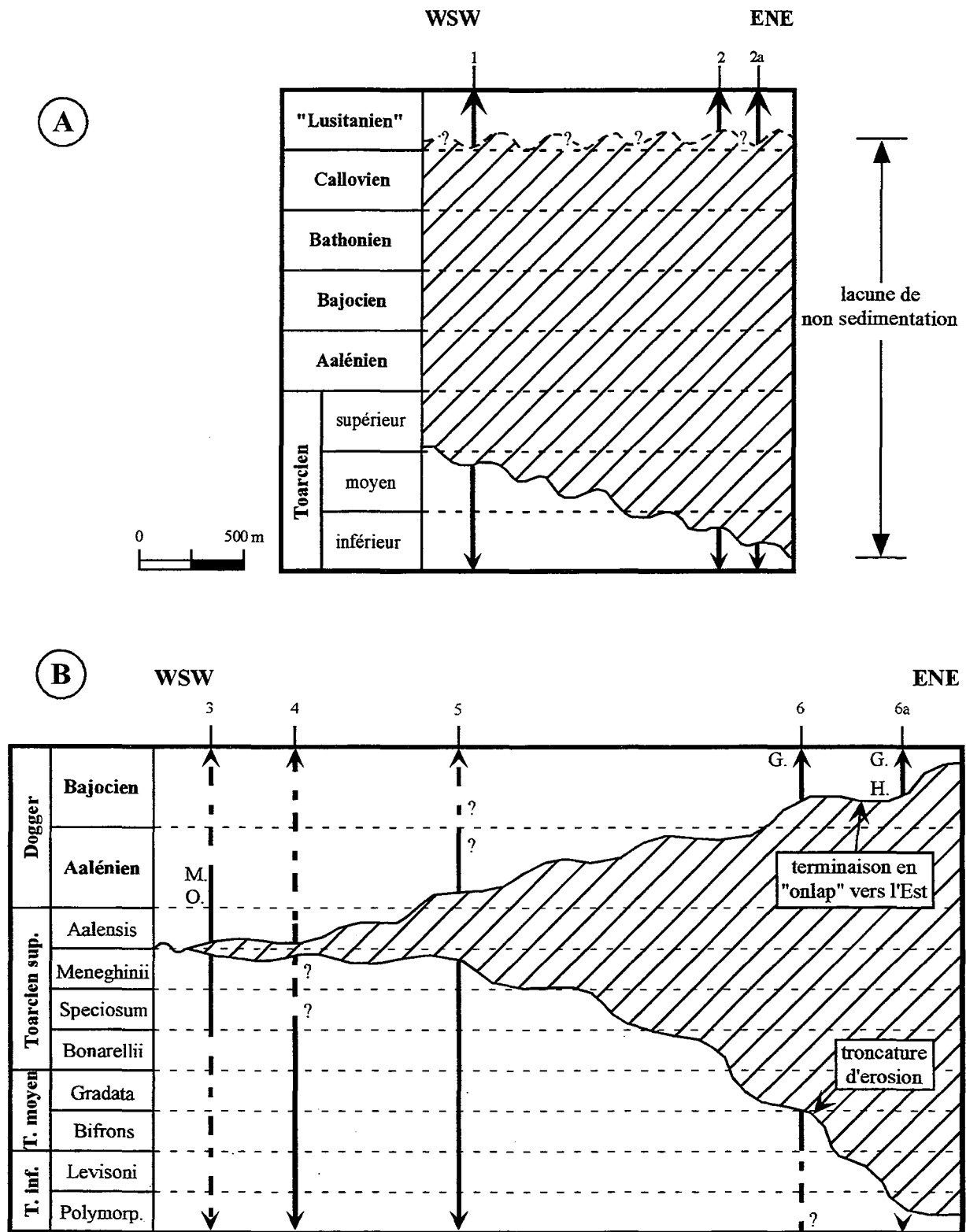


Fig. 3 - Importance de la lacune dans la structure de Serra de El-Rei: A) sur le flanc nord; B) sur le flanc sud (O - Opalinum; M - Murchisonae; H - Humphriesianum; G - Garantiana).

Le parallélisme de la stratification entre le Lias ("calcaires en plaquettes" du Toarcien inf.) et le "Lusitanien" est bien visible sur le terrain (fig. 2, coupes 2 et 2a) 500m à l'Est de Serra de El-Rei. Par contre, dans le flanc sud, le "Lusitanien" à faune saumâtre [= "couches à tendances lagunaires peu marquées" de Ruget-Perrot (1961, pp. 102-103), avec des charophytes, ostracodes et *Pseudocyclamina* sp.] serait l'équivalent des Couches de Cabaços (França *et al.* 1960).

4. INTERPRÉTATION ET DISCUSSION (fig. 4-5)

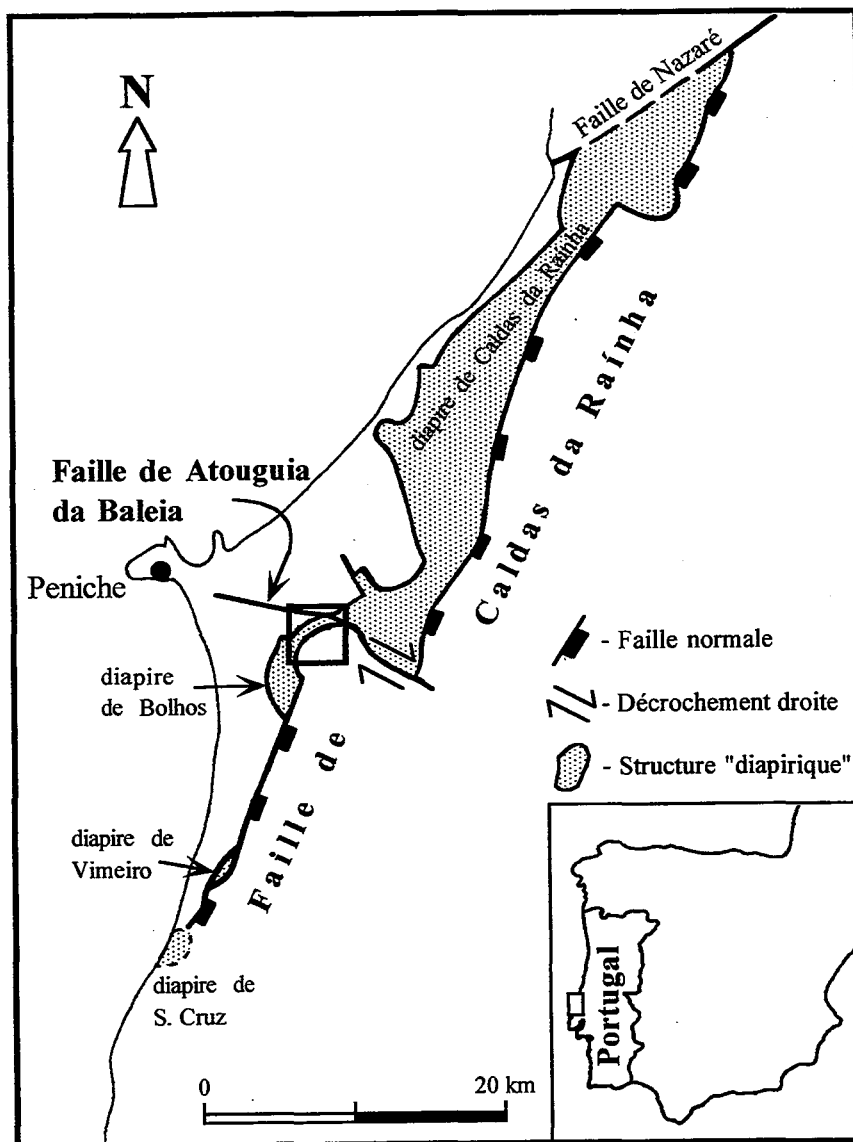


Fig. 4 - Schéma de localisation de la structure de Serra de El-Rei et encadrement structural.

Distension mésozoïque (fig.5)

Dans le Bassin Lusitanien, ce sont les failles normales d'orientation NNE-SSW héritées du socle hercynien, qui contrôlent les alignements des principaux dépocentres du bassin. Ces failles ont absorbé la plus grande partie de la distension mésozoïque, d'orientation générale E-W (Ribeiro *et al.* 1996), tandis que les failles subperpendiculaires ont joué essentiellement comme des failles de transfert de mouvement en absorbant aussi, éventuellement, une partie de la distension (Terrinha *et al.* 1996). Cependant la géométrie finale du bassin n'est pas seulement conditionnée par les déplacements produits par des failles profondes (tectonique "thick skinned"), mais aussi par des failles listriques superficielles, avec un déplacement le long de l'unité ductile des Marnes de Dagorda (tectonique "thin skinned") (Ribeiro *et al.* 1996, Terrinha *et al.* 1996).

Etant donné que la structure de Serra de El-Rei se situe le long d'une faille subméridienne où affleure plusieurs structures considérées comme des diapirs et qu'elle présente, le long de son axe, cette unité argilo-évaporitique, il nous paraît nécessaire de discuter ici la question de l'influence de l'halocinèse dans la genèse de cette structure.

D'ailleurs le rôle joué par les Marnes de Dagorda dans l'architecture des unités jurassiques pendant les différentes périodes de temps où l'halocinèse a eu éventuellement lieu, ont été l'objet de controverse, spécialement en ce qui concerne le diapir de Caldas da Rainha, la plus importante structure de ce genre dans le Bassin Lusitanien. En effet, les deux positions contradictoires connues considèrent :

- la première, l'existence d'une halocinèse contemporaine de la distension jurassique (essentiellement pendant le Jurassique moyen et supérieur) qui serait responsable d'importantes variations d'épaisseur des unités lithostratigraphiques (Oertel 1952, Guéry 1984, Montenat *et al.* 1988, Wilson *et al.* 1991).

- la deuxième, l'existence d'une argilocinèse (à la place de l'halocinèse) associée à la formation d'anticlinaux pendant l'inversion tectonique du bassin, qui a eu lieu au Cénozoïque (Canérot *et al.* 1995).

Dans ce dernier cas on peut ranger la position de Zbyszewski (1959), qui caractérise les contacts entre les Marnes de Dagorda et la couverture tertiaire comme fortement laminés et rebroussés, et celle de Kullberg & Ribeiro (*in* Rocha *et al.* 1987).

À l'échelle du bassin, Terrinha *et al.* (1996) et Ribeiro *et al.* (1996) posent l'hypothèse d'un mouvement halocinétique *s. l.*, subparallèle à la stratification (qui pourrait être à l'origine de l'individualisation de sous-bassins pendant la distension mésozoïque et lubrifier des plans de chevauchements pendant la compression tertiaire) ou en murs de sel, ce qui n'implique pas, la formation de diapirs *s.s.* Ces auteurs, s'appuyant sur l'interprétation de profils sismiques, considèrent la nécessité de extrusion du sel ("salt withdrawal"), étant donné que la distension affectant le socle est trop petite pour justifier les grandes épaisseurs de la série sédimentaire sus-jacente.

Les petites dimensions de la structure de Serra de El-Rei ne nous permettent pas d'étendre cette problématique du diapirisme à l'ensemble du bassin. Cependant, étant donné que cette structure se situe dans le même grand alignement de failles des diapirs de Santa Cruz, Vimeiro, Bolhos et Caldas da Rainha, quoique dans une situation particulière par rapport à ceux-ci, certaines comparaisons peuvent être établies. Cette faille, la faille de Caldas da Rainha, sépare le bloc de Peniche de celui de Bombarral (Canérot *et al.* 1995).

Le contact entre les unités du Lias et du Dogger présente deux types différents : à la base, on a une troncature d'érosion progressive et, au sommet, des terminaisons en onlap en direction de l'Est; les couches présentent donc un épaississement vers l'Ouest.

Il est difficile d'établir des comparaisons entre les unités du Jurassique supérieur des deux flancs de la structure car celles-ci paraissent incomplètes et condensées à leur base, dans le flanc NW. Ainsi, bienqu'il ne soit pas possible de l'affirmer avec certitude en raison de l'absence de données, le bloc NW pourrait être resté préservé; la lacune Jurassique inférieur-Jurassique supérieur correspondrait alors à une lacune de non sédimentation.

Les troncatures érosives de séquences syn- et post-rift sont communes dans des structures de blocs basculés à grande échelle (Williams 1993); ces blocs tournent dans

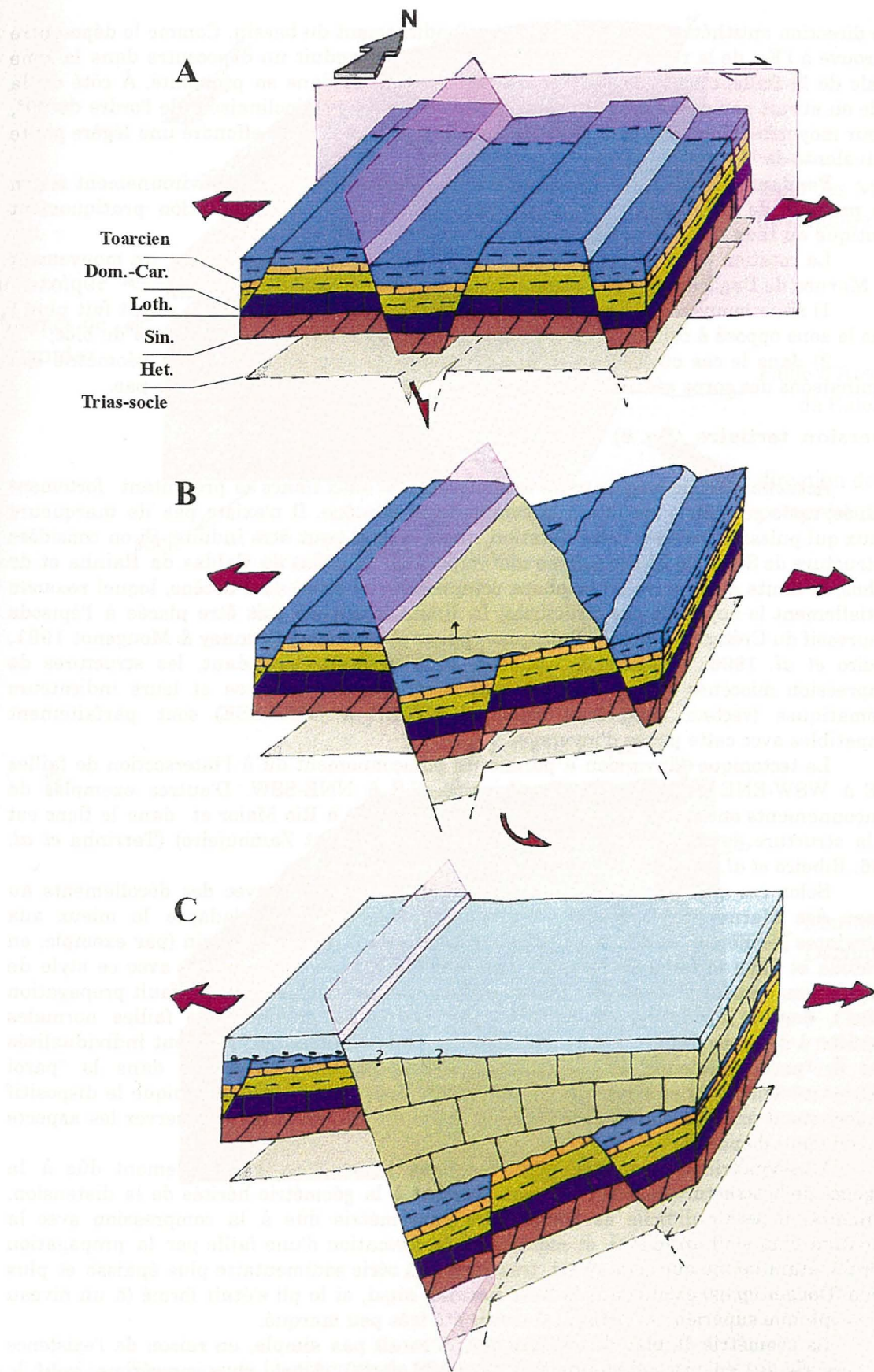


Fig. 5 - Modèle de l'évolution tectono-sédimentaire de la structure de Serra de El-Rei; A- à la fin du Toarcien; B - pendant le Dogger; C - pendant le "Lusitanien".

une direction antithétique au sens de l'approfondissement du bassin. Comme le dépoint se trouve à l'Est de la région étudiée, le bloc subsident produit un dépoint dans la zone axiale de la faille, c'est à dire, un ombilic de subsidence dans sa proximité. À côté de la faille on aurait une pente plus abrupte, compatible avec son inclinaison (de l'ordre de 60°, valeur moyenne d'inclinaison de failles normales), et dans le bloc effondré une légère pente équivalente de la rotation du bloc.

Pendant le Dogger, cette topographie se serait développée en environnement marin peu profond, de façon très constante et avec un taux de sédimentation pratiquement identique au taux de subsidence.

La rotation citée précédemment n'aurait pas été accompagnée par un mouvement des Marnes de Dagorda, pour deux raisons:

1) si un mouvement des Marnes avait eu lieu, le déplacement se serait fait plutôt dans le sens opposé à celui de la faille, c'est à dire vers des zones plus "hautes" du bloc;

2) dans le cas où il y aurait eu une montée le long de la faille, la géométrie des terminaisons des corps sédimentaires serait en downlap, ce qui ne s'observe pas.

Inversion tertiaire (fig. 6)

Actuellement, le long de toute la structure, les deux flancs se présentent fortement inclinés; cette géométrie est due à la compression miocène. Il n'existe pas de marqueurs locaux qui puissent préciser cette datation, mais celle-ci peut être induite. Si on considère la structure de Serra de El-Rei comme contemporaine de celles de Caldas da Rainha et de Bolhos, la limite supérieure de la phase compressive se situe au Pliocène, lequel recouvre partiellement le noyau de ces structures; la limite inférieure doit être placée à l'épisode compressif du Crétacé terminal - Paléogène (phase pyrénéenne) (Vanney & Mougenot 1981, Ribeiro *et al.* 1996, Kullberg & Kullberg, sous presse). Cependant, les structures de compression miocènes (phase bétique) sont bien plus importantes et leurs indicateurs cinématiques (vecteur compressif principal NW-SE à NNW-SSE) sont parfaitement compatibles avec cette phase d'inversion.

La tectonique d'inversion a permis un poinçonnement dû à l'intersection de failles W-E à WSW-ENE avec d'autres de direction N-S à NNE-SSW. D'autres exemples de poinçonnements ont été déjà cités à Lisboa, en Arrábida, à Rio Maior et dans le flanc est de la structure de Caldas da Rainha (Sobral da Lagoa et Zambujeiro) (Terrinha *et al.* 1996, Ribeiro *et al.* 1996, Kullberg & Kullberg, sous presse).

Selon ces auteurs, le modèle de tectonique pelliculaire (avec des décollements au niveau des Marnes de Dagorda) s'est montré être celui qui s'adapte le mieux aux contraintes géométriques des principales structures d'inversion du bassin (par exemple, en Arrábida et dans la faille de Nazaré). Pendant l'inversion, et en liaison avec ce style de déformation, on peut observer des plis de propagation le long des failles ("fault propagation faults"), dont la formation est facilitée par l'existence préalable de failles normales associées à des épisodes de "rifting". L'existence de synclinaux parfaitement individualisés dans la "paroi inférieure" et d'anticlinaux incomplètement développés dans la "paroi supérieure" démontrent eux aussi des décollements dans la couverture. Quoique le dispositif soit fortement exhumé dans la structure de Serra de El-Rei, on peut observer les aspects dont on vient de parler.

L'assymétrie du pendage entre les deux flancs n'est pas seulement due à la vergence de la structure vers le NW, mais surtout à la géométrie héritée de la distension. D'ailleurs, il serait difficile de comprendre l'assymétrie due à la compression avec la formation d'un seul anticlinal, et même avec la formation d'une faille par la propagation d'un pli, étant donné que celui-ci est très serré. La série sédimentaire plus épaisse et plus rigide (Dogger épais) existe dans le flanc normal; ainsi, si le pli s'était formé (à un niveau topographique supérieur à l'actuel), il aurait été très peu marqué.

La géométrie du plan de décollement ne serait pas simple, en raison de l'existence de blocs rigides en profondeur (demi-grabens du socle). Ainsi, nous suggérons, pour le niveau de décollement, une géométrie en rampes et en replats. Les failles de Caldas da Rainha et de Atougua da Baleia auraient fonctionné comme des rampes obliques du décollement; dans ces rampes se seraient injectées des argiles

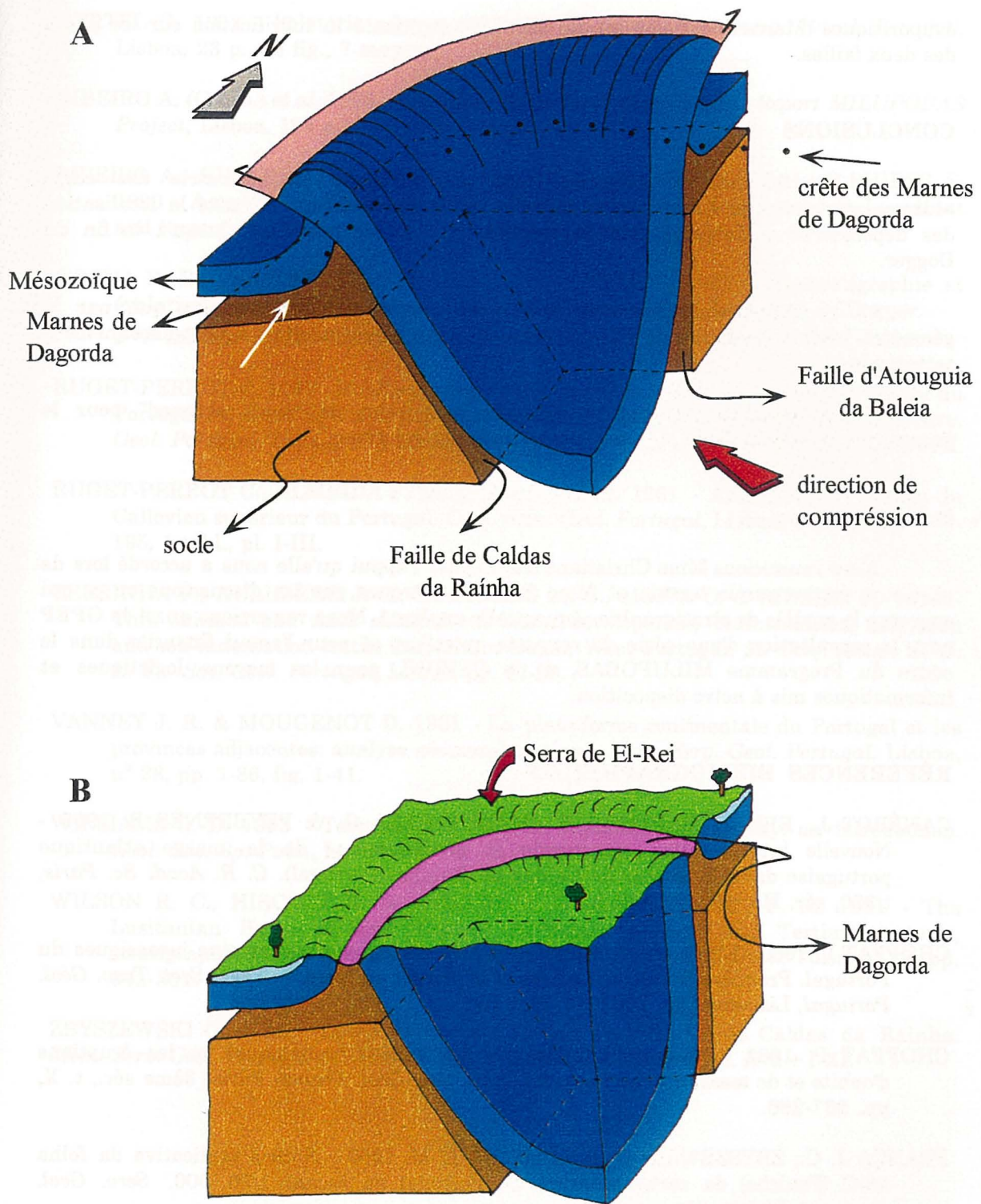


Fig. 6 Modèle d'inversion de la structure de Serra de El-Rei, pendant le Miocène; A - indentation du bloc SE contre le bloc NW; B - modèle topographique actuel.

évaporitiques (Marnes de Dagorda) qui auraient augmenté la lubrification sur les plans des deux failles.

CONCLUSIONS

a) Les Marnes de Dagorda n'ont pas influencé la géométrie des corps sédimentaires; c'est la structuration du socle en "half-graben" qui a limité la localisation des dépo-centres et l'organisation séquentielle des unités post-Lias, jusqu'à la fin du Dogger.

b) La structure de Serra de El-Rei est une structure d'inversion qui, par la géométrie héritée des failles de distension mésozoïque, correspondrait à un poinçonnement tectonique.

c) Les modèles tectoniques suggérés sont celui de "thick skinned" pour le Jurassique et celui de "thin skinned" pour l'inversion miocène.

Remerciements

Nous remercions Mme Christiane Ruget pour l'appui qu'elle nous a accordé lors de plusieurs sorties sur le terrain et Mme Béatrice Marques par les discussions en ce qui concerne le modèle de stratigraphie séquentielle appliqué. Nous remercions aussi le GPEP pour la consultation d'une série de rapports pétroliers et pour l'appui financier dans le cadre du Programme MILUPOBAS, et le CEPUNL pour les moyens logistiques et informatiques mis à notre disposition.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CANÉROT J., REY J., BAPTISTA R., MANUPPELLA G. & PEYBERNÈS B. 1995 - Nouvelle interprétation structurale et géodynamique de la marge atlantique portugaise dans le secteur de Caldas da Rainha (Portugal). *C. R. Acad. Sc. Paris*, t.320, sér. IIa, pp. 523-530.
- CHOFFAT P. 1880 - Etude stratigraphique et paléontologique des terrains jurassiques du Portugal. Première livraison: Le Lias et le Dogger au Nord du Tage. *Sect. Trav. Géol. Portugal*, Lisbonne, pp. I-XII + 1-73, 6 fig.
- CHOFFAT P. 1882 - Note préliminaire sur les vallées typhoniques et les éruptions d'ophite et de teschenite en Portugal. *Bull. Soc. Géol. France*, Paris, 3ème sér., t. X, pp. 267-288.
- FRANÇA J. C., ZBYSZEWSKI G. & ALMEIDA F. M. 1960 - Notícia explicativa da folha 26-C (Peniche) da carta geológica de Portugal na escala 1/50 000. *Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 33 p.
- GUÉRY F. 1984 - Evolution sédimentaire et dynamique du bassin marginal-ouest portugais au Jurassique (Province d'Estramadura, secteur de Caldas da Rainha - Montejunto). *Thèse Univ. Claude Bernard, Lyon*, 477 p.
- MONTENAT C., GUÉRY F. & JAMET M. 1988 - Mesozoic evolution of the Lusitanian Basin: comparison with the adjacent margin. In G. BOILLOT, E. L. WINTERER *et al.* (Edit.), *Proc. Ocean Dril. Progr. Scient. Results*, College Station, vol. 103, pp. 757-775.

- OERTEL G. 1952 - Relatório sobre a região de Serra d'El-Rei. *Comp. Petrol. Portugal*, Lisboa, 23 p., 13 fig., 7 mapas.
- RIBEIRO A. (Coord.) *et al.* 1996 - Tectonics of the Lusitanian Basin. *Report MILUPOBAS Project*, Lisboa, 124 p.
- RIBEIRO A., KULLBERG M. C., KULLBERG J. C., MANUPPELLA G. & PHIPPS S. 1990 - A review on Alpine tectonics in Portugal: foreland detachment in basement and cover rocks. *Tectonophysics*, Amsterdam, n° 184, pp. 357-366.
- ROCHA R. B., MOUTERDE R., SOARES A. F. & ELMÍ S. 1987 - Biostratigraphie et évolution séquentielle du bassin au Nord du Tage au cours du Lias et du Dogger. *2nd Int. Symp. Jur. Strat.*, Lisboa. Excursion A, 84 p.
- RUGET-PERROT C. 1961 - Etudes stratigraphiques sur le Dogger et le Malm inférieur du Portugal au Nord du Tage. Bajocien, Bathonien, Callovien, Lusitanien. *Mem. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, n° 7 (N.S.), pp. 1-197, fig. 1-45, tabl. I-V, cartes A-C, pl. I-XI.
- RUGET-PERROT C., ALMEIDA F. M. & TINTANT H. 1961 - Ammonites nouvelles du Callovien supérieur du Portugal. *Com. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, t. XLV, pp. 177-195, 1 tabl., pl. I-III.
- TERRINHA P., KULLBERG J. C., KULLBERG M. C., MOITA C. & RIBEIRO A. 1996 - Thin skinned and thick skinned sub-basin development, bidimensional extension and self-indentation in the Lusitanian Basin, West Portugal. *2a Conf. Anual G. G. E. T./ Soc. Geol. Portugal*, Lisboa, pp. 17-20.
- VANNEY J. R. & MOUGENOT D. 1981 - La plate-forme continentale du Portugal et les provinces adjacentes: analyse géomorphologique. *Mem. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, n° 28, pp. 1-86, fig. 1-41.
- WILLIAMS G. D. 1993 - Tectonics and seismic sequence stratigraphy: an introduction. *Geol. Soc. Sp. Publ.*, London, n° 71, pp. 1-13.
- WILSON R. C., HISCOTT R. N., WILLIS M. G. & GRADSTEIN F. M. 1991 - The Lusitanian Basin of West Central Portugal: Mesozoic and Tertiary tectonic, stratigraphic and subsidence history. *Mem. Amer. Ass. Petrol. Geol.*, Tulsa, n° 46, pp. 341-361.
- ZBYSZEWSKI G. 1959 - Etude structurale de l'aire typhonique de Caldas da Rainha. *Mem. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, n° 3 (N.S.), pp. 1-182, fig. 1-3, pl. A-G + I-XI.

PLANCHE 1



Fig.1 - Aspect d'un dyke neptunien à la base du Dogger, dans le flanc sud de la structure de Serra de El-Rei (nouvelle carrière au SW de la coupe 4).

Fig.2 - Conglomérat de la base du "Lusitanien" à l'Est du village de Serra de El-Rei; on note les fragments de "calcaires en plaquettes" du Toarcien inf. remaniés au sein du conglomérat.

